

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-054837

(43)Date of publication of application : 26.02.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 09-202808

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 29.07.1997

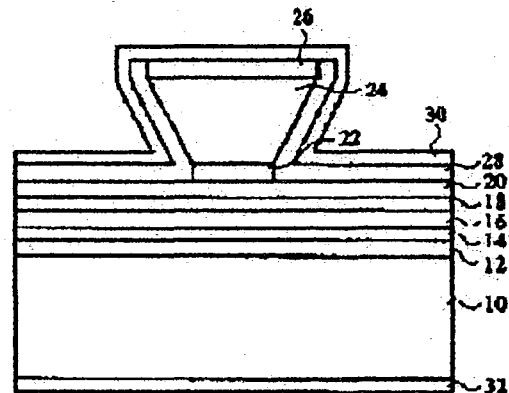
(72)Inventor : AZUMA TOSHIO
FUJII TAKUYA

(54) OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an AlGaInAs/InP optical semiconductor device with a structure, wherein good temperature characteristic is realized and a series resistance is low, and a method of manufacturing the device.

SOLUTION: This device is provided with an InP semiconductor substrate 10, an active layer 16 formed on the substrate 10, a first clad layer 20 which is formed on the layer 16 is made lattice-matched with the substrate 10 and consists of a p-type AlInAs layer, a semiconductor layer 22 which is formed on the layer 20 has a PL wavelength within a range of 0.95 to 1.1 μ m, is made lattice-matched with the substrate 10 and consists of a p-type InGaAsP layer, and a second clad layer 24 which is formed on the layer 22 and consists of a p-type InP layer. The layer 22 is an etching stopper layer, at the time when the layer 24 is etched. A heterobarrier between the layers 22 and 20 is hardly formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-54837

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-202808

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月29日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 東 敏生

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 藤井 卓也

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 北野 好人

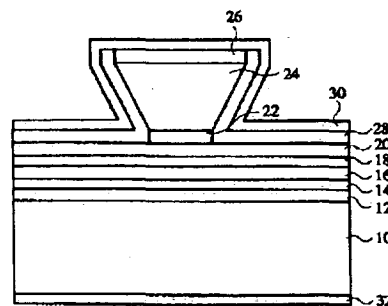
(54) 【発明の名称】 光半導体装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 良好な温度特性を実現し、直列抵抗が低い A l G a I n A s / I n P 系の光半導体装置及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 I n P 半導体基板 1 0 と、I n P 半導体基板 1 0 上に形成された活性層 1 6 と、活性層 1 6 上に形成され、I n P 半導体基板 1 0 に格子整合した p 型 A l I n A s からなる第 1 クラッド層 2 0 と、第 1 クラッド層 2 0 上に形成され、P L 波長が 0. 9 5 μ m ~ 1. 1 μ m の範囲内にあり、I n P 半導体基板 1 0 に格子整合した p 型 I n G a A s P からなる半導体層 2 2 と、半導体層 2 2 上に形成され、p 型 I n P からなる第 2 クラッド層 2 4 とを有する。半導体層 2 2 は、第 2 クラッド層 2 4 をエッチングする際のエッチングストップ層である。半導体層 2 2 と第 1 クラッド層 2 0 間のヘテロ障壁がほとんどない。

本発明の一実施形態による半導体レーザの断面図



10...n-InP半導体基板
12...n-AlInAsクラッド層
14...SCH層
16...多量量子井戸層
18...SCH層
20...p-AlInAsクラッド層
22...p-GaInAsPエッチングストップ層
24...p-InPクラッド層
26...p+-InGaAsコンタクト層
28...シリコン酸化膜
30...p側電極
32...n側電極

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 InP 半導体基板と、

前記 InP 半導体基板上に形成された活性層と、
前記活性層上に形成され、前記 InP 半導体基板に格子整合した p 型 AlInAs からなる第 1 クラッド層と、
前記第 1 クラッド層上に形成され、PL 波長が $0.95\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$ の範囲内にあり、前記 InP 半導体基板に格子整合した p 型 GaInAsP からなる半導体層と、

前記半導体層上に形成され、p 型 InP からなる第 2 クラッド層とを有することを特徴とする光半導体装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の光半導体装置において、
前記第 1 クラッド層、前記半導体層、及び前記第 2 クラッド層のドーパント濃度は $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の光半導体装置において、
前記第 2 クラッド層は、逆メサ形状をしていることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 4】 請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光半導体装置において、
前記活性層は、AlGaInAs 系材料の多重量子井戸構造を含むことを特徴とする光半導体装置。

【請求項 5】 請求項 4 記載の光半導体装置において、
前記多重量子井戸構造は、圧縮歪が加わった AlGaInAs 活性層と、歪がほとんど加わらない AlGaInAs 障壁層とを交互に積層して構成されていることを特徴とする光半導体装置。

【請求項 6】 InP 半導体基板上に、活性層と、前記 InP 半導体基板に格子整合した p 型 AlInAs からなる第 1 クラッド層と、PL 波長が $0.95\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$ の範囲内にあり、前記 InP 半導体基板に格子整合した p 型 GaInAsP からなる半導体層と、p 型 InP からなる第 2 クラッド層とを形成する第 1 の工程と、
前記第 2 クラッド層上にマスク層を形成する第 2 の工程と、
前記マスク層をマスクとして前記第 2 クラッド層をエッチングする第 3 の工程とを有することを特徴とする光半導体装置の製造方法。

【請求項 7】 請求項 6 記載の光半導体装置の製造方法において、
前記第 3 の工程では、前記第 2 クラッド層を逆メサ形状にすることを特徴とする光半導体装置の製造方法。

【請求項 8】 請求項 7 記載の光半導体装置の製造方法において、
前記第 3 の工程では、Br 系のエッチャントにより前記第 2 クラッド層をエッチングすることを特徴とする光半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、AlGaInAs / InP 系の光半導体装置及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバ通信は、ケーブル 1 本当たりの伝送情報量が多く、電波障害の影響を受けにくいという特徴がある。現在、日米の国際電話回線や国内の主要基幹回線は光ファイバ回線に置き換えられつつある。近年、個々の加入者に対しても光ファイバ回線を利用しようとする動きが高まっている。

【0003】 個々の加入者に対する光ファイバ通信を実現するためには、光源である半導体レーザが低価格であることが要求される。このため、温度制御装置や光アイソレータ等の高価な光部品を用いることができず、環境温度変動に対する安定性や、耐戻り光特性等が半導体レーザに対して要求される。これまで、通信用の長波長の光半導体レーザとしては、InP 半導体基板上に格子整合した GaInAsP 系材料を堆積した GaInAsP / InP 系半導体レーザが用いられてきた。例えば、M. Aoki 等により、次のような報告がなされている。

(1) M. Aoki, T. Tsuchiya, K. Nakahara, M. Komori, and K. Uomi, "High-power and wide-temperature-range operations of InGaAsP-InP strained MQW lasers with reverse-mesa ridge-waveguide structure", IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 7, No. 1, pp. 13-15, Jan. 1995

(2) M. Aoki, M. Komori, T. Tsuchiya, H. Sato, K. Uomi, and T. Ohtoshi, "High performance InGaAsP/InP strained layer MQW lasers with reverse-mesa ridge-waveguide structures", IEEE Electron. Lett., vol. 31, No. 12, pp. 973-974, June 1995

(3) M. Aoki, T. Tsuchiya, K. Nakahara, M. Komori, K. Uomi, and T. Ohtoshi, "High-power, wide-temperature-range operation of InGaAsP/InP strained-layer MQW lasers with a reverse-mesa ridge-waveguide structure", OFC '95 Technical Digest, pp. 255-256, Feb. 1995

これら報告における GaInAsP / InP 系半導体レーザの構造の一例を図 10 に示す。図 10 は半導体レーザの断面図である。

【0004】 図 10 に示すように、n-InP 半導体基板 100 上に、GaInAsP 系の SCH-MQW 層 104 が形成されている。SCH-MQW 層 104 は、多重量子井戸 (MQW (Multiple Quantum Well)) 層が SCH (Separated Confinement Heterostructure) 層で挟まれた構造をしている。SCH-MQW 層 104 上にはリッジ構造の p-InP クラッド層 108 が形成されている。p-InP クラッド層 108 は、コンタクト抵抗を下げるために、SCH-MQW 層 104 側が細い逆メサ形状をしている。p-InP クラッド層 108 側

面及びSCH-MQW層104上面はシリコン酸化膜110により覆われ、さらに、p-InPクラッド層108はポリイミド層112により埋め込まれている。

【0005】p-InPクラッド層108上面には、p-InGaAsコンタクト層114を介してp側電極116が形成されている。n-InP半導体基板100下面にはn側電極118が形成されている。このGaInAsP/InP系半導体レーザは、リッジ構造のp-InPクラッド層108を逆メサ形状にすることにより、コンタクト抵抗を下げて高出力の半導体レーザを実現することができる。

【0006】しかしながら、このGaInAsP/InP系半導体レーザは、発振しきい値電流値の特性温度 T_0 が70K程度までしか得ることができず、環境温度が変動するとレーザ発振に必要な電流値が急激に上昇してしまい使用困難な状態になってしまう。これに対し、温度特性の改善が期待できる長波長の半導体レーザの材料として、InP半導体基板上にAlGaInAs系材料を形成したAlGaInAs/InP系半導体レーザが注目されている。例えば、C.E. Zah, Z. Wang, M. C. Wang等により、次のような報告がなされている。

(4) C.E. Zah et al, "High-performance uncooled 1.3 μ m Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP strained-layer quantum-well lasers for subscriber loop applications", IEEE J. Quantum Electron, vol.30, No. 2, pp. 511-523, Feb. 1994

(5) C.E. Zah et al, "Low Threshold 1.3 μ m Strained-Layer Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP Quantum Well Lasers", IEE Electron. Lett., vol.28, No. 25, p. 2323-2325, Dec. 1992

(6) C.E. Zah et al, "High-performance uncooled 1.3 μ m Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP strained-layer quantum-well lasers for fiber-in-the-loop applications", 94 OFC, pp. 204-205, 1994

(7) Z. Wang et al, "High-reliability, high-performance, low-cost coaxial laser module at 1.3 μ m for local-loop applications", 94 OFC, pp. 145-146, 1994

(8) Z. Wang et al, "High speed, ultralow noise, tensile strained InGaAlAs MQW lasers emitting at 1300 nm for optical communication and microwave applications", IEE Electron. Lett., vol.30, No. 17, pp. 1413-1414, Aug. 1994

(9) C.E. Zah et al, "Low Threshold 1.3 μ m Strained-Layer Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP Quantum Well Lasers", 13th International Semiconductor Laser Conference, K-5, pp. 202-203, 1992

(10) C.E. Zah et al, "High-temperature modulation dynamics of 1.3 μ m Al_xGa_yIn_{1-x-y}As/InP compressive-strained multiple-quantum well laser

rs", 14th International Semiconductor Laser Conference, Th1.3, pp. 215-216, 1994

(11) Z. Wang et al, "High speed, ultra low noise operation from -40°C to 100°C tensile strained InGaAlAs MQW lasers emitting at 1300 nm", 14th International Semiconductor Laser Conference, PD10, pp. 23-24, Sept. 1994

(12) M.C. Wang et al, "Ultrahigh temperature and ultrahigh speed operation of 1.3 μ m strain-compensated AlGaInAs/InP uncooled laser diodes", IEE Electron. Lett., vol. 31, No. 18, pp. 1584-1585, Aug. 1995

(13) M.C. Wang et al, "Ultra-high temperature and ultra-high speed operation of 1.3 μ m AlGaInAs/InP Uncooled Laser Diodes", IEEE/LEOS Annual Meeting '95 SCL6.2, pp. 280-281, 1995

(14) H. Lu et al, "High performance AlGaInAs/InP strained MQW lasers for optical communication", IEEE/LEOS Annual Meeting '96 ThB2, pp. 281-282, 1996

(15) R. Ranganathan et al, "Influence of blue-shifted energy in the spectrum for 1.5 μ m AlInGaAs/InP MQW DFB lasers on dispersion penalty in 2.5 Gbit/s systems", IEEE/LEOS Annual Meeting '96 ThI2, p. 337-338, 1996

(16) M.C. Wang et al, "Highly-reliable, high-performance 1.3 μ m low-cost laser diodes for fiber-to-the-home applications", IEEE/LEOS Annual Meeting '96 ThU2, pp. 415-416, 1996

(17) A. Balida et al, "Correlation of light-to heavy-hole valence bandsplitting with performance of 1.3 μ m uncooled tensile-strained AlInGaAs/InP MQW FP lasers", IEEE/LEOS Annual Meeting '96 ThU3, p. 417-418, 1996

これら報告におけるAlGaInAs/InP系半導体レーザの素子構造の一例を図11に示す。図11は半導体レーザのバンド構造を示している。

【0007】図11に示すように、n-InP半導体基板120上に、AlInAsクラッド層122が形成されている。AlInAsクラッド層122上には、AlGaInAs系のSCH-MQW層124が形成されている。SCH-MQW層124は、MQW層がSCH層で挟まれた構造をしている。SCH-MQW層124上には、AlInAsクラッド層126が形成されている。AlInAsクラッド層126上にはp-InPクラッド層128が形成されている。

【0008】これまでの報告では、特性温度にして100K程度の温度特性を有するAlGaInAs/InP系半導体レーザが得られている。また、このAlGaInAs/InP系半導体レーザでは、活性層であるSCH-MQW層124にAlが含まれているた

め、メサを形成して埋め込み成長を行う構造で製造することは困難である。そこで、Alを含む材料系の半導体レーザではリッジ構造を採用している。

【0009】リッジ構造の半導体レーザの場合、図10において説明したように、コンタクト抵抗を下げるために、逆メサ形状にすることが望ましい。しかしながら、図11の半導体レーザの場合、p-InPクラッド層128を逆メサ形状にするエッチャントを用いてエッチングすると、AlInAsクラッド層126までエッチングされてしまうため、制御性よく逆メサ形状のAlGaInAs/InP半導体レーザを実現することができない。

【0010】一方、AlGaInAs/InP半導体レーザであって、p-InPクラッド層とp-AlInAsクラッド層の間にエッチングストップ層を挿入する構造について次のような報告がある。

(18) B. Stegmüller, B. Bonchert, and R. Gessner, "1.57 μm strained-layer quantum-well GaInAlAs ridge-waveguide laser diodes with high temperature (130°C) and ultrahigh-speed (176Hz) performance", IEE E Photon. Technol. Lett., vol. 5, No. 6, pp. 597-599, June 1993

この報告におけるAlGaInAs/InP系半導体レーザの素子構造を図12に示す。図12は半導体レーザの構造とバンド構造を示している。

【0011】図11に示すように、n-InP半導体基板130上に、GaInAs/AlGaInAs系のSCH-MQW層132が形成されている。SCH-MQW層132上にはp-AlInAsクラッド層134が形成されている。p-AlInAsクラッド層134上には、p-AlGaInAsエッチングストップ層136を介してメサ形状のp-InPクラッド層138が形成されている。

【0012】p-InPクラッド層138上面には、p-GaInAsコンタクト層140を介してp側電極142が形成されている。n-InP半導体基板130下面にはn側電極144が形成されている。p-AlGaInAsエッチングストップ層136上面及びp-InPクラッド層138側面及び上面は、酸化アルミニウム層146により覆われている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】このように、p-AlInAsクラッド層134とp-InPクラッド層138の間にp-AlGaInAsエッチングストップ層136を挿入すれば、この層でエッチングが停止してp-InPクラッド層138をメサ形状にすることができる。しかしながら、このp-AlGaInAsエッチングストップ層136を挿入したために、価電子帯側に大きな井戸が形成され、直列抵抗が大きくなってしまい、十分な特性が得られない。

【0014】本発明の目的は、良好な温度特性を実現し、直列抵抗が低いAlGaInAs/InP系の光半導体装置及びその製造方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的は、InP半導体基板と、前記InP半導体基板上に形成された活性層と、前記活性層上に形成され、前記InP半導体基板に格子整合(−0.2%~+0.2%)したp型AlInAsからなる第1クラッド層と、前記第1クラッド層上に形成され、PL波長が0.95 μm ~1.1 μm の範囲内にあり、前記InP半導体基板に格子整合したp型GaInAsPからなる半導体層と、前記半導体層上に形成され、p型InPからなる第2クラッド層とを有することを特徴とする光半導体装置によって達成される。

【0016】上述した光半導体装置において、前記第1クラッド層、前記半導体層、及び前記第2クラッド層のドーパント濃度は $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上であることが望ましい。上述した光半導体装置において、前記第2クラッド層は、逆メサ形状をしていることが望ましい。

【0017】上述した光半導体装置において、前記活性層は、AlGaInAs系材料の多重量子井戸構造を含むことが望ましい。上述した光半導体装置において、前記多重量子井戸構造は、圧縮歪が加わったAlGaInAs活性層と、歪がほとんど加わらないAlGaInAs障壁層とを交互に積層して構成されていることが望ましい。

【0018】上記目的は、InP半導体基板上に、活性層と、前記InP半導体基板に格子整合したp型AlInAsからなる第1クラッド層と、PL波長が0.95 μm ~1.1 μm の範囲内にあり、前記InP半導体基板に格子整合したp型GaInAsPからなる半導体層と、p型InPからなる第2クラッド層とを形成する第1の工程と、前記第2クラッド層上にマスク層を形成する第2の工程と、前記マスク層をマスクとして前記第2クラッド層をエッチングする第3の工程とを有することを特徴とする光半導体装置の製造方法によって達成される。

【0019】上述した光半導体装置の製造方法において、前記第3の工程では、前記第2クラッド層を逆メサ形状にすることが望ましい。上述した光半導体装置の製造方法において、前記第3の工程では、Br系のエッチャントにより前記第2クラッド層をエッチングすることが望ましい。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態による半導体レーザを図1を用いて説明する。図1は本実施形態の半導体レーザの構造を示す図である。約270 μm 厚で不純物濃度が約 $2.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn-InP半導体基板10上に、約50~400 nm厚で不純物濃度が約 $5.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のn-Al_{0.47}In_{0.53}Asクラ

ッド層 12 が形成されている。

【0021】 $n\text{-AlInAs}$ クラッド層 12 上には、約 $100 \pm 10 \text{ nm}$ 厚で、PL 波長が約 $1.0 \mu\text{m}$ の $i\text{-Al}_{0.32}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.53}\text{As}$ SCH (Separate Confinement Heterostructure) 層 14 を介して、多重量子井戸層 16 が形成されている。多重量子井戸層 16 は、約 $4 \pm 1 \text{ nm}$ 厚で、 $n\text{-InP}$ 半導体基板 10 に対して 1.5% 程度の圧縮歪が加わる $i\text{-Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.12}\text{In}_{0.76}\text{As}$ 活性層と、約 $10 \pm 5 \text{ nm}$ 厚で、 $n\text{-InP}$ 半導体基板 10 に対して無歪で、PL 波長が約 $1.0 \mu\text{m}$ の $i\text{-Al}_{0.32}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 障壁層とが交互に積層して形成されている。多重量子井戸層 16 の活性層数は、例えば、8 層である。多重量子井戸層 16 上には、約 $100 \pm 10 \text{ nm}$ 厚で、PL 波長が約 $1.0 \mu\text{m}$ の $i\text{-Al}_{0.32}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.53}\text{As}$ SCH 層 18 が形成されている。

【0022】SCH 層 18 上には、約 $50 \sim 400 \text{ nm}$ 厚で不純物濃度が $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の $p\text{-Al}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ クラッド層 20 が形成されている。 $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 上には、数 10 nm 厚で、PL 波長が約 $1.05 \mu\text{m}$ で、不純物濃度が約 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の $p\text{-Ga}_{0.115}\text{In}_{0.885}\text{As}_{0.246}\text{P}_{0.754}$ エッチングストップ層 22 を介して、約 $2000 \pm 100 \text{ nm}$ 厚で不純物濃度が $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の $p\text{-InP}$ クラッド層 24 が形成されている。 $p\text{-InP}$ クラッド層 24 上には、約 $500 \pm 100 \text{ nm}$ 厚で、不純物濃度が $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で、不純物濃度が約 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の $p^+\text{-In}_{0.523}\text{Ga}_{0.467}\text{As}$ コンタクト層 26 が形成されている。

【0023】 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22、 $p\text{-InP}$ クラッド層 24 及び $p^+\text{-InGaAs}$ コンタクト層 26 は、図 1 に示すように、 $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 側が狭い逆メサ形状のリッジ構造となるように加工されている。このリッジ構造は、中央の突出部分以外の領域はシリコン酸化膜 28 により覆われている。 $p^+\text{-InGaAs}$ コンタクト層 26 の露出部分、及びシリコン酸化膜 28 上には、 Ti/Pt/Au 層からなる p 側電極 30 が形成されている。 $n\text{-InP}$ 半導体基板 10 の下面には、 AuGe/Au 層からなる n 側電極 32 が形成されている。

【0024】本実施形態によれば、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 の組成比を調整することにより、エッチングストップ層 22 と $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 との間のヘテロ障壁をなくすることができる。このことについて図 2 及び図 3 を用いて説明する。図 2 に、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 の組成比を変化した場合の価電子帯側でのエネルギー不連続量の変化を示す。横軸にエッチングストップ層 22 の PL 波長をとり、縦軸に価電子帯側でのエネルギー不連続 ΔE_v をとる。 $\Delta E_v 1$ は、 $p\text{-AlInAs}$ クラッド

層 20 とのエネルギー不連続量であり、 $\Delta E_v 2$ は、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 と $p\text{-InP}$ クラッド層 24 とのエネルギー不連続であり、 $\Delta E_v 3$ は、 $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 と $p\text{-InP}$ クラッド層 24 とのエネルギー不連続量である。これらエネルギー不連続量 $\Delta E_v 1$ 、 $\Delta E_v 2$ 、 $\Delta E_v 3$ の間には、 $\Delta E_v 3 = \Delta E_v 1 + \Delta E_v 2$ なる関係がある。

【0025】図 2 に示すように、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 の組成比を変化させると、PL 波長の増加に応じて、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 と $p\text{-InP}$ クラッド層のエネルギー不連続 $\Delta E_v 2$ が増加する。 $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 と $p\text{-InP}$ クラッド層 24 とのエネルギー不連続量 $\Delta E_v 3$ は一定であり変化しない。

【0026】このため、エネルギー不連続量 $\Delta E_v 2$ がエネルギー不連続量 $\Delta E_v 3$ より小さい場合には、図 3 (a) に示すように、価電子帯側において、 $p\text{-InP}$ クラッド層 24 と、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 と、 $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 とのヘテロ接合において段差が生ずる。一方、エネルギー不連続量 $\Delta E_v 2$ がエネルギー不連続量 $\Delta E_v 3$ より大きい場合には、図 3 (b) に示すように、価電子帯側において、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 が井戸となるエネルギーバンドとなる。

【0027】したがって、エネルギー不連続量 $\Delta E_v 2$ がエネルギー不連続量 $\Delta E_v 3$ とほぼ等しい場合には、図 3 (c) に示すように、価電子帯側において、 $p\text{-InP}$ クラッド層 24 と $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 とでの段差がなくなる。 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 の PL 波長を約 $1.05 \mu\text{m}$ とし、エネルギー不連続量 $\Delta E_v 2$ がエネルギー不連続量 $\Delta E_v 3$ とほぼ等しくなることが最も望ましいが、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 の PL 波長が $0.95 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 程度であつても、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 のヘテロ接合における直列抵抗が十分に小さくなり効果的である。エッチングストップ層 22 の組成比は、PL 波長が約 $1.05 \mu\text{m}$ では、 $p\text{-Ga}_{0.115}\text{In}_{0.885}\text{As}_{0.246}\text{P}_{0.754}$ となり、PL 波長が $0.95 \sim 1.1 \mu\text{m}$ の範囲では、 $p\text{-Ga}_{0.029}\text{In}_{0.971}\text{As}_{0.063}\text{P}_{0.937} \sim p\text{-Ga}_{0.153}\text{In}_{0.847}\text{As}_{0.328}\text{P}_{0.672}$ の範囲となる。

【0028】このように、本実施形態によれば、 $p\text{-GaInAsP}$ エッチングストップ層 22 の組成比を適切な範囲内の値とすることにより、図 4 に示すエネルギーバンド図となり、エッチングストップ層 22 と $p\text{-AlInAs}$ クラッド層 20 との間の価電子帯側でのヘテロ障壁をなくして直列抵抗を低下させることができる。比較のため、図 5 に、図 11 の半導体レーザのエネルギーバンド図を示し、図 6 に、図 12 の半導体レーザのエネルギーバンド図を示す。本実施形態の半導体レーザは、

エッチングストップ層を設けていながら、図5に示す図11の半導体レーザのようにヘテロ障壁がない低い直列抵抗を実現できる。図6に示す図12の半導体レーザのエネルギーバンド図と比較すれば、直列抵抗が低下していることがよくわかる。

【0029】次に、本実施形態による半導体レーザの製造方法を図7及び図8を用いて説明する。まず、 n - InP 半導体基板10上に、例えば、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により、約50~400nm厚の n - AlInAs クラッド層12と、約100±10nm厚の i - AlGaInAs SCH層14と、 i - AlGaInAs 活性層と i - AlGaInAs 障壁層を交互に積層した多重量子井戸層16と、約100±10nm厚の i - AlGaInAs SCH層18と、約50~400nm厚の p - AlInAs クラッド層20と、数10nm厚の p - GaInAsP エッチングストップ層22と、約1000±100nm厚の p - InP クラッド層24と、約500±100nm厚の p - InGaAs コンタクト層26とを、この順番で積層する(図7(a))。

【0030】次に、リッジ構造を形成するために、 p - InGaAs コンタクト層26上全面にシリコン酸化膜からなるマスク層40を形成し、続いて、後述するエッチングによるメサが逆メサ形状になるような方向のストライプとなるように、マスク層40をパターニングする(図7(b))。次に、このマスク層40をマスクとして、例えば、エタン及び水素ガスを含むエッチングガスを用いて p - InGaAs コンタクト層26及び p - InP クラッド層24の一部を反応性イオンエッチング(RIE)によりエッチングする。続いて、 Br 系のエッチャント、例えば、臭化水素酸を用いて p - InP クラッド層24をエッチングする。 p - InP クラッド層24は、図7(b)に示すように、逆メサ形状となる。 Br 系のエッチャントを用いたエッチングは、 p - GaInAsP エッチングストップ層22で停止する。

【0031】次に、硫酸系のエッチャント、例えば、硫酸を用いて、残存した p - GaInAsP エッチングストップ層22を除去する(図7(c))。次に、フッ酸を含むエッチャントを用いたウエットエッチングによりマスク層40を除去し、その後、パッシベーション用のシリコン酸化膜28を形成する(図8(a))。

【0032】次に、シリコン酸化膜28に電極取り出し用の窓を開口し(図8(b))、全面に Ti/Pt/Au 層からなる p 側電極30を形成する(図8(c))。続いて、 n - InP 半導体基板10下面を研磨した後、全面に AuGe/Au 層からなる n 側電極32を形成する(図8(c))。このように本実施形態によれば、エッチングストップ層の材料として Br 系のエッチャントによりエッチングされない p - GaInAsP を用いたので、 p - InP クラッド層をエッチングして逆

メサ形状に形成することができる。

【0033】本発明の他の実施形態による半導体レーザを図9を用いて説明する。図9は本実施形態の半導体レーザの構造を示す図である。図1乃至図8に示す実施形態と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。本実施形態の半導体レーザでは、 p - InP クラッド層24が、図9に示すようにメサ形状の側壁がほぼ垂直である点を除いては、図1乃至図8に示す実施形態の半導体レーザと同じである。本実施形態では p - InP クラッド層24をエッチングする際に、 Br 系のエッチャントの代わりに、例えば、塩素を含む塩素系のエッチャントを用いる。これにより、 p - InP クラッド層24は側壁がほぼ垂直であるメサ形状となり、 p - GaInAsP エッチングストップ層22により停止する。

【0034】本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態では、活性層として多重量子井戸構造を用いたが、他の構造、例えば、単層の活性層でもよい。また、上記実施形態における素子構造はあくまで本発明を適用した一例であって、本発明が上記実施形態の素子構造に限定されるものではない。

【0035】さらに、上記実施形態では、半導体レーザに本発明を適用したが、半導体レーザ以外の他の光半導体装置に本発明を適用してもよい。

【0036】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、 p 型 AlInAs クラッド層と p 型 InP クラッド層との間に p 型 GaInAsP 半導体層を挿入したので、この p 型 GaInAsP 半導体層により p 型 InP クラッド層のエッチングを停止することができる。しかも、 p 型 GaInAsP 半導体層のPL波長を0.95 μm ~1.1 μm の範囲内としたので、ヘテロ接合における障壁を低くして直列抵抗を十分に小さくすることができる。また、 InP 半導体基板上に AlGaInAs 系材料を形成した AlGaInAs/InP 系光半導体装置であるので、温度特性の改善が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態による半導体レーザの断面図である。

【図2】 p - GaInAsP エッチングストップ層の組成比と、価電子帯側での p - InP クラッド層に対するエネルギー不連続量との関係を示すグラフである。

【図3】 p - GaInAsP エッチングストップ層の組成比を変化した場合の半導体レーザのエネルギーバンド図である。

【図4】本発明の一実施形態によれる半導体レーザのエネルギーバンド図である。

【図5】従来の AlGaInAs/InP 系半導体レーザの一例のエネルギーバンド図である。

【図6】従来の AlGaInAs/InP 系半導体レーザの他の例のエネルギーバンド図である。

【図7】本発明の一実施形態による半導体レーザの製造方法の工程断面図（その1）である。

【図8】本発明の一実施形態による半導体レーザの製造方法の工程断面図（その2）である。

【図9】本発明の他の実施形態による半導体レーザの断面図である。

【図10】従来のGaInAsP/InP系半導体レーザの断面図である。

【図11】従来のAlGaInAs/InP系半導体レーザの一例のエネルギーバンド図である。

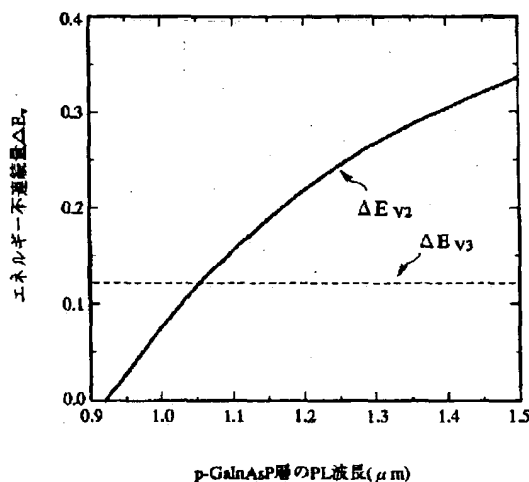
【図12】従来のAlGaInAs/InP系半導体レーザの他の例の断面図及びエネルギーバンド図である。

【符号の説明】

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 10…n-InP半導体基板 | 32…n側電極 |
| 12…n-AlInAsクラッド層 | 40…マスク層 |
| 14…SCH層 | 100…n-InP半導体基板 |
| 16…多重量子井戸層 | 104…SCH-MQW層 |
| 18…SCH層 | 108…p-InPクラッド層 |
| 20…p-AlInAsクラッド層 | 110…シリコン酸化膜 |
| 22…p-GaInAsPエッチングストップ層 | 112…ポリイミド層 |
| 24…p-InPクラッド層 | 114…p ⁺ -InGaAsコンタクト層 |
| 26…p ⁺ -InGaAsコンタクト層 | 116…p側電極 |
| 28…シリコン酸化膜 | 118…n側電極 |
| 30…p側電極 | 120…n-InP半導体基板 |
| | 122…AlInAsクラッド層 |
| | 124…SCH-MQW層 |
| | 126…AlInAsクラッド層 |
| | 128…p-InPクラッド層 |
| | 130…n-InP半導体基板 |
| | 132…SCH-MQW層 |
| | 134…p-AlInAsクラッド層 |
| | 136…p-AlGaInAsエッチングストップ層 |
| | 138…p-InPクラッド層 |
| | 140…p ⁺ -GaInAsコンタクト層 |
| | 142…p側電極 |
| | 144…n側電極 |
| | 146…酸化アルミニウム層 |

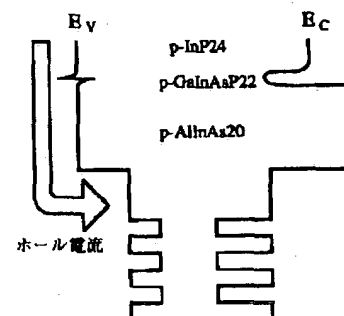
【図2】

p-GaInAsPエッチングストップ層の組成比と、価電子帯側でのp-InPクラッド層に対するエネルギー不連続量との関係を示すグラフ



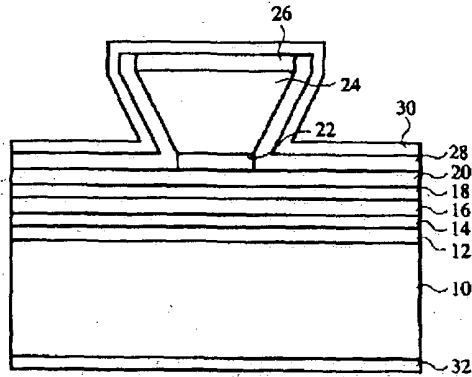
【図4】

本発明の一実施形態による半導体レーザのエネルギーバンド図



【図1】

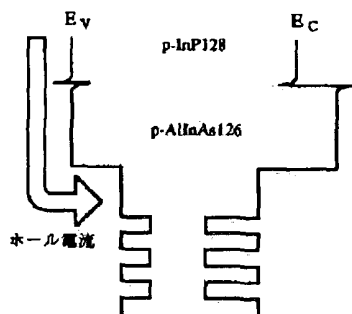
本発明の一実施形態による半導体レーザの断面図



- 10...n-InP半導体基板
12...n-AlInAsクラッド層
14...SCH層
16...多重量子井戸層
18...SCH層
20...p-AlInAsクラッド層
22...p-GaInAsPエッチングストップ層
24...p-InPクラッド層
26...p⁺-InGaAsコンタクト層
28...シリコン酸化膜
30...p側電極
32...n側電極

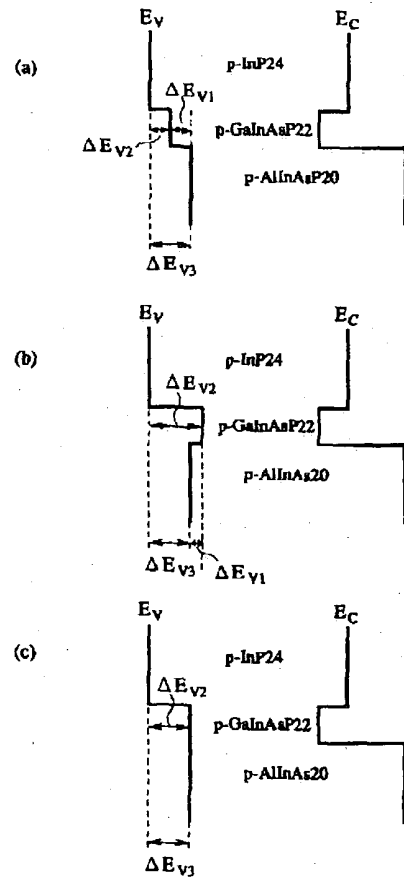
【図5】

従来のAlGaInAs/InP系半導体レーザの一例のエネルギーバンド図



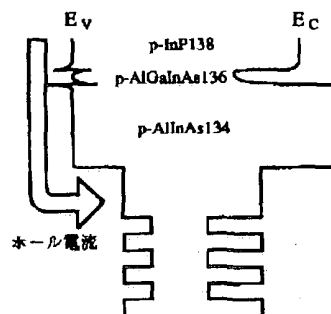
【図3】

p-GaInAsPエッチングストップ層の組成比を変化した場合の半導体レーザのエネルギーバンド図



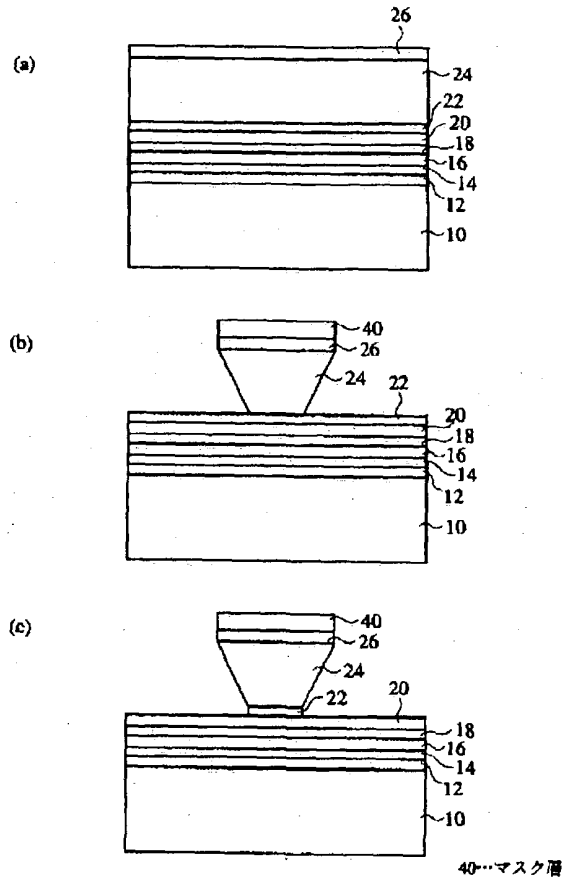
【図6】

従来のAlGaInAs/InP系半導体レーザの他の例のエネルギーバンド図



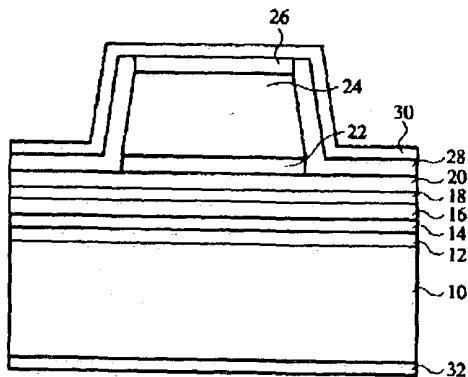
【図7】

本発明の一実施形態による半導体レーザの
製造方法の工程断面図（その1）



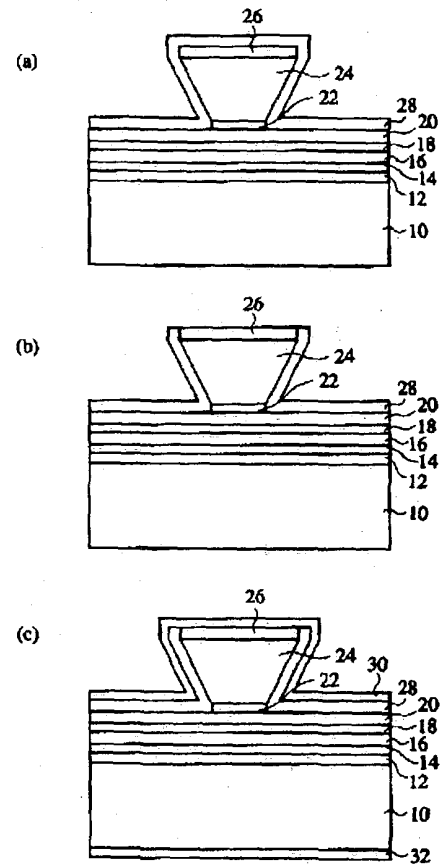
【図9】

本発明の他の実施形態による半導体レーザの断面図



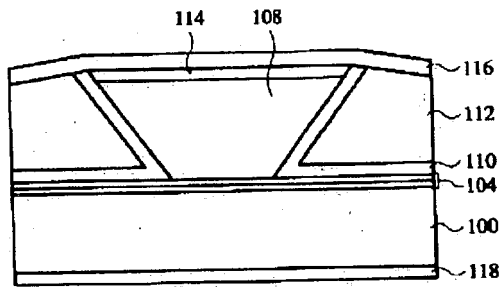
【図8】

本発明の一実施形態による半導体レーザの
製造方法の工程断面図（その2）



【図10】

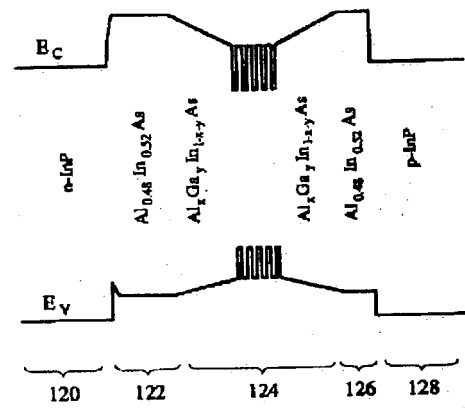
従来のInGaAsP/InP系半導体レーザの断面図



100...n-InP半導体基板
 104...SCH-MQW層
 108...p-InPクラッド層
 110...シリコン酸化層
 112...ポリイミド層
 114...p+-InGaAsコンタクト層
 116...p側電極
 118...n側電極

【図11】

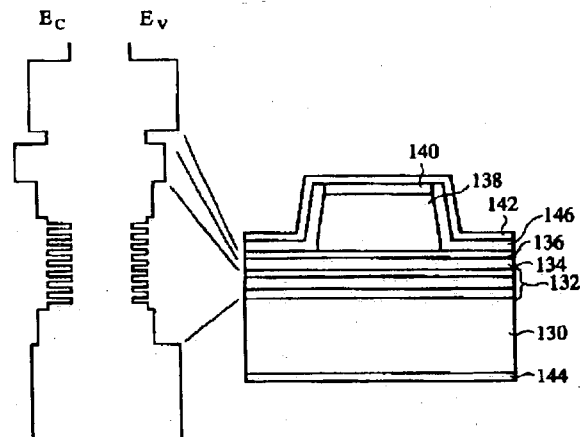
従来のAlGaInAs/InP系半導体レーザの一例のエネルギーバンド図



120...n-InP半導体基板
 122...AlInAsクラッド層
 124...SCH-MQW層
 126...AlInAsクラッド層
 128...p-InPクラッド層

【図 1 2】

従来のAlGaInAs/InP系半導体レーザの
他の例の断面図及びエネルギーバンド図



- 130...n-InP半導体基板
- 132...SCH-MQW層
- 134...p-AlInAsクラッド層
- 136...p-AlGaInAsエッチングストップ層
- 138...p-InPクラッド層
- 140...p+-GaInAsコンタクト層
- 142...p側電極
- 144...n側電極
- 146...酸化アルミニウム層